



Kahden peräkkäisen työvaiheen yhdistäminen koneistussoluksi

Atte Vanhala

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotantotekniikka

VANHALA, ATTE:

Kahden peräkkäisen työvaiheen yhdistäminen koneistussoluksi

Opinnäytetyö 41 sivua
Toukokuu 2020

Opinnäytetyössä tutkittiin, millaisella konseptilla olisi järkevintä yhdistää kaksi peräkkäistä työvaihetta roottorin valmistuksessa. Kohdeyrityksessä Gardner Denver Oy:llä roottoreita valmistetaan kahdesta eri materiaalista, valuraudasta ja teräksestä. Roottorien valmistuksessa vaiheita on neljä: Sorvaus, muodonjyrsintä, pyöröhiointa ja muodonhiointa. Sorvaus ja muodonjyrsintä tehdään samalla 5-akselisella monitoimisorvilla, mutta jokainen muu vaihe tehdään tällä hetkellä erikseen. Tämä aiheuttaa ylimääräistä nostelua työntekijöille, koska kappaleet lastataan takaisin kuormalavoille odottamaan seuraavaa vaihetta. Erilliset vaiheet aiheuttavat myös tuotannonohjaukseen lisää työkuormaa ja pidentävät läpimenoaikoja huomattavasti. Työssä keskitytään vaiheaikojen vertailuun, materiaali-erojen huomioimiseen, vähentämään työntekijään kohdistuvaa rasitusta ja samalla poistamaan hukkaa. Tutkimuksessa hyödynnettiin koneistusmenetelmistä ja tuotannonohjauksesta kertovaa kirjallisuutta, Lean-filosofiaa, empiiristä havainnointia ja kelloitettuja vaiheajoja.

Vaiheajoja, materiaali-eroavaisuuksia ja yrityksessä jo olevia soluratkaisuja vertailemalla parhaaksi koneistussoluvaihtoehtoksi saatiin kahden erillisen solun muodostama soluryhmä. Vertailuja eri soluvaihtoehtojen välillä tehtiin Robotstudio -ohjelmalla. Soluryhmässä on yhdistetty kaksi yhden työstökoneen koneistus-solua toisiinsa. Näiden kahden solun väliin sijoitetaan saareke, joka toimii yhdistävänä tekijänä solujen välillä. Soluilla voi ajaa joko yhdessä tai erikseen. Tämä on hyvä myös silloin, jos toinen soluista on epäkunnossa tai huollossa. Toinen solu voi silti olla käytössä. Lisäksi valurautaiset ja teräksiset roottorit tulisi koneistaa omissa soluissaan. Näin pystyttäisiin varmistamaan paras mahdollinen laatu.

Soluihin olisi mahdollista lisätä myös muita työntekijän työkuormaa vähentäviä komponentteja, kuten keskiökolojen putsaus- ja rasvauspiste, automaattinen kappaleenmittaus, kappaleen lasermerkkaus, kappaleen viimeistely robotilla sekä konenäöllä toteutettu kappaleiden paletointi tai lavoitus.

Laadun kehittämiseksi seuraavassa vaiheessa voitaisiin keskittyä enemmän materiaalien eroavaisuuksiin. Työssä voitaisiin testata eri hiomakiviä ja leikkuunesteitä teräkseen ja valurautaan. Testit voitaisiin tehdä sekä pyörö- että muodonhionnassa. Lisäksi koneiden sijoitteluun ja solun pohjaratkaisuun tulee kiinnittää huomiota.

Asiasanat: roottorin valmistus, koneistussolu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

VANHALA ATTE:

Combining two successive work phases into a machining cell

Bachelor's thesis 41 pages.
May 2020

The purpose of the thesis was to study what kind of concept would make the most sense to combine two successive work steps in rotor manufacturing. At the target company Gardner Denver Oy, rotors are made of two different materials, cast iron and steel. There are four phases in the manufacture of rotors: Turning, shape milling, rotary grinding and shape grinding. Turning and contour milling are performed with the same 5-axis multifunction lathe, but each other phase is currently performed separately. This causes extra lifting for workers as the pieces are loaded back onto the pallets to wait for the next phase. Separate stages also cause more workload for production control and significantly increase lead times. The work focuses on comparing phase times, considering material differences, reducing the burden on the employee and at the same time eliminating waste. The study utilized the literature on machining methods and production control, Lean philosophy, empirical observation and clocked phase times.

By comparing the phase times, material differences and cell solutions already in the company, the best machining cell option was a group of cells formed by two separate cells. Comparisons between different cell options were made with Robotstudio program. In a cell group, two machining cells of one machine tool are connected to each other. An island is placed between the two cells, which acts as a connecting factor between the cells. The cells can be run either together or with separately. This is also good if one of the cells is out of order or in service, as second cell may still be in use. In addition, cast iron and steel root troughs should be machined in their own cells. This would ensure the best possible quality.

It would also be possible to add other components to the workload that reduce the workload of the worker, such as the centering and greasing point of the central cavities, automatic part measurement, part laser marking, part finishing with a robot and machine vision palletizing or stacking.

To improve quality, the next step could be to focus more on material differences. The work could test various abrasive stones and cutting fluids on steel and cast iron. The tests could be performed in both circular and shape grinding. In addition, attention should be paid to the placement of the machines and the floor plan of the cell

Key words: screw compressors, robot cell, machining cell

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	YRITYKSEN HISTORIA.....	6
2.1	Yrityksen nykytilanne	6
3	RUUVIKOMPRESSORIT	7
4	KONEISTUSSOLU	9
4.1	Solutyypit	9
4.2	Solun tuotannonohjaus	11
4.3	Tuottavuus	11
4.4	Lean-ajattelumalli	12
4.5	Läpäisy aika	12
5	TEOLLISUUSROBOTTI.....	14
5.1	Teollisuusrobotit yleistyvät	14
5.2	Robottityypit	16
5.2.1	Sylinterirobotit.....	17
5.2.2	Suorakulmaiset robotit eli porttaalirobotit.....	17
5.2.3	SCARA-robotit.....	18
5.2.4	Kiertyvänivelinen robotti	18
5.3	Robotin työkalut	19
6	TERÄKSEN JA VALURAUDAN EROT	22
6.1	Teräs.....	22
6.2	Valurauta.....	23
7	ROOTTORIKONEISTUKSESSA KÄYTETTÄVÄT TYÖSTÖMENETELMÄT.....	24
7.1	Sorvaus/jyrsintä.....	24
7.2	Pyöröhionta	28
7.3	Muodon viimeistelyhionta	29
7.4	Leikkuunesteen valinta.....	29
7.5	Vaiheajat	30
8	KONEISTUSSOLURATKAISU	31
8.1	Teräsroottorien valmistus solussa	31
8.2	Valurautaisten roottorien valmistus solussa	33
8.3	Koneistussolu Lean-näkökulmasta.....	33
8.4	Robottisoluun liitettävät toiminnot.....	35
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	39
	LÄHTEET	41

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa kannattavuutta kahden peräkkäisen työvaiheen yhdistämisestä samaan soluun. Lisäksi työssä tulee selvittää, minkälaisella konseptilla vaiheiden yhdistäminen olisi kannattavaa. Opinnäytetyö tehtiin Gardner Denver Oy nimiselle paineilmakompressoreita valmistavalle yritykselle. Yrityksessä toimii koneistus, suunnittelu, huolto ja varaosamyynti samassa rakennuksessa. Opinnäytetyö tehtiin koneistusosaston, roottoreita valmistavalle osastolle. Osastolla oli jo ennestään yksi kahden hiomakoneen viimeistelysolu, johon on liitetty teollisuusrobotti. Osaston loput koneet ovat yhden työstökoneen robottisoluina, joista yhdessä on teollisuusrobotti ja muissa kappaleenvaihto on toteutettu porttaalirobotilla. Porttaalirobotit soveltuvat hyvin kappaleen vaihtoon linjatyypisessä solussa, mutta ovat rajoittuneet lähes pelkästään siihen. Lisäksi Gardner Denverin porttaalit ovat lähes kymmenen vuotta vanhoja, joten myös tästä syystä asian miettiminen alkaa olla jo ajankohtaista.

Työvaiheita roottorien koneistamisessa on karkeasti ottaen neljä. Sorvaus, muodon rouhinta jysintä, pyöröhionta ja muodon hionta. Sorvaus ja muodon rouhinta jysintä tehdään samalla, 5-akseli sorvilla, joten ne lasketaan kuuluvaksi samaan työvaiheeseen. Työvaiheiden välissä kappaleet nostetaan lähes aina takaisin kuormalavalle, mistä syntyy todella paljon ylimääräistä nostotyötä päivän aikana. Vaiheita yhdistämällä pyritään poistamaan muun muassa tätä työntekijöitä rasittavaa nostotyötä ja helpottamaan tuotannon ohjattavuutta. Paras mahdollinen tilanne olisi, jos kappaleet voitaisiin valmistaa yhdessä solussa valmiiksi asti.

Roottoreita valmistetaan kahdesta eri materiaalista, valuraudasta ja teräksestä. Vaiheajat vaihtelevat roottorimallien välillä todella paljon. Teräksisillä kappaleilla sorvaus ja jysintä vievät yli kaksi kertaa enemmän aikaa kuin pyöröhionta. Valurautaiset kappaleet tulevat valmiiksi sorvattuina tehtaalle, joten niihin tehdään vain muodon rouhintajysintä ja pyöröhionta. Tämän vuoksi pitää miettiä kannattaako teräksestä valmistettuja kappaleita laittaa samaan soluun ja minkälainen ratkaisu olisi paras mahdollinen vai pitäisikö ne tehdä edelleen kokonaan erikseen?

2 YRITYKSEN HISTORIA

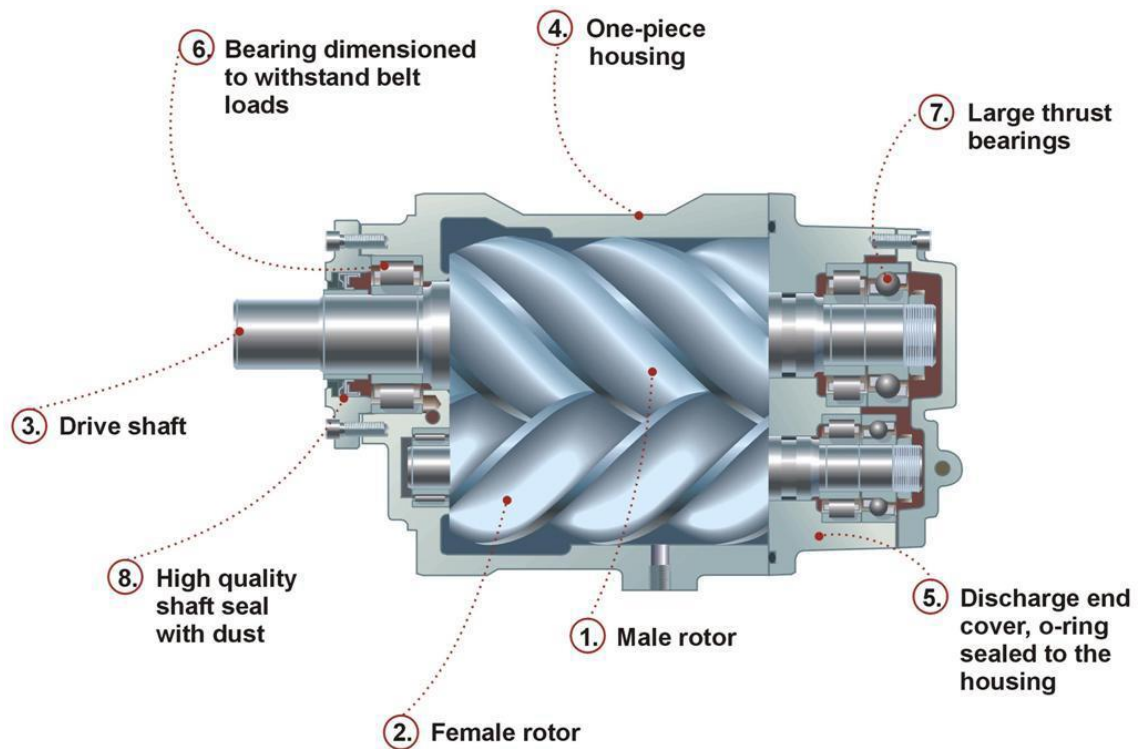
Yrityksen historia alkoi vuonna 1963, kun Tampella teki lisenssisopimuksen Ruotsalaisen SRM:n (Svenska Rotormaskiner) kanssa ruuvikompressoreiden valmistuksesta. Sopimuksen syynä oletetaan olleen kallioporaosaston tarvitsemat dieselkompressorit. Sopimus edellytti tilaamaan Holroyd-merkkiset vierintäjyrsinkoneet. 60-luvulla ruuvikompressoreja ei vielä juuri ollut, joten ensimmäiset ruuvikompressorit saatiin valmiiksi vuonna 1968. Samana vuonna solmittiin toinen lisenssisopimus Sullair:n kanssa. Vuonna 1971 kallioporausosasto, josta tuli Tamrock, alkoi siirtyä dieselkoneista hydrauliseen poraukseen. Siitä sai alkunsa teollisuuskoneet. Tampellan taloudellisten vaikeuksien takia, yrityksen kompressoreita valmistava puoli päätettiin yhtiöittää vuonna 1990 ja näin syntyi Tamrotor, joka on edelleen mukana yhtiön toiminnassa. 1991 käynnistettiin ENDURO-ruuviyksikkösarjan suunnittelu mikä oli tärkeää käänne kohta kannattavan OEM-liiketoiminnan (*Original Equipment Manufacturer - alkuperäinen laitevalmistaja*) kannalta. 90-luvun alkupuolella perustettiin myös Tamrotor Marine Norjaan. 1995 koneistukseen otettiin käyttöön FMS-järjestelmä (Flexible Manufacturing System - joustava valmistusjärjestelmä), lisäksi sen aikaiset roottoreiden valmistuksessa käytettävät jyrsinkoneet modernisoitiin, mikä nosti kannattavuutta huomattavasti. Amerikkalainen suuryritys Gardner Denver Inc. huomasi Tamrotorin potentiaalin ja osti koko liiketoiminnan vuonna 1997. Kuitenkin kompressoreita valmistettiin vielä Tamrotor nimellä vuoteen 1999 asti ja Gardner Denver logo otettiin käyttöön vasta vuonna 2003. (Gardner Denver Oy, 2012)

2.1 Yrityksen nykytilanne

Gardner Denver Inc. listautui New Yorkin pörssiin vuonna 2017. Vuonna 2018 Tampereella Gardner Denver Oy:ssa oli 160 työntekijää ja liikevaihto oli 59,1 miljoonaa euroa. 1.3.2020 Gardner Denver Inc. yhdistyi Ingersoll Rand Industrialin kanssa. Yhdistymisessä uuden yhtiön nimeksi tuli Ingersoll Rand Inc.

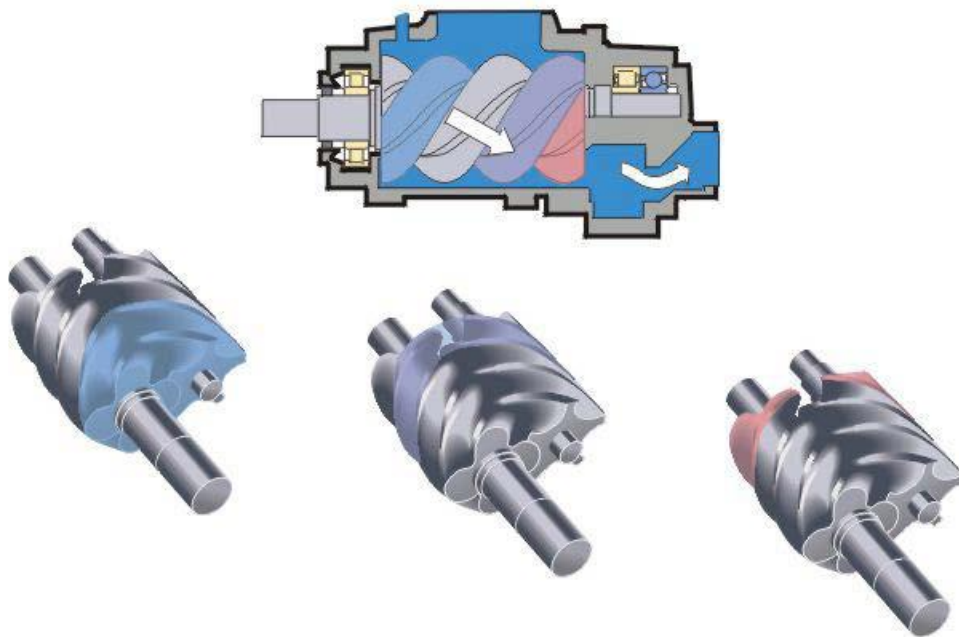
3 RUUVIKOMPRESSORIT

Kompressoreiden tarkoitus on tuottaa paineilmaa erilaisiin käyttötarkoituksiin. Ruuvikompressoreissa paineilma tuotetaan kahden limittäin pyörivän roottorin välissä. Kuvassa 1. roottorit on merkitty numeroilla 1 ja 2. Tampereen tehtaalla valmistettavat ruuvikompressorit ovat öljyjäähdytteisiä ja ruuvi vetoisia. Roottoriparia pyöritetään sähkömoottorin välityksellä ruuviroottorin (1. male rotor) akselilta (3. drive shaft), luistiroottori (2. female rotor) pyörii ruuviroottorin mukana.



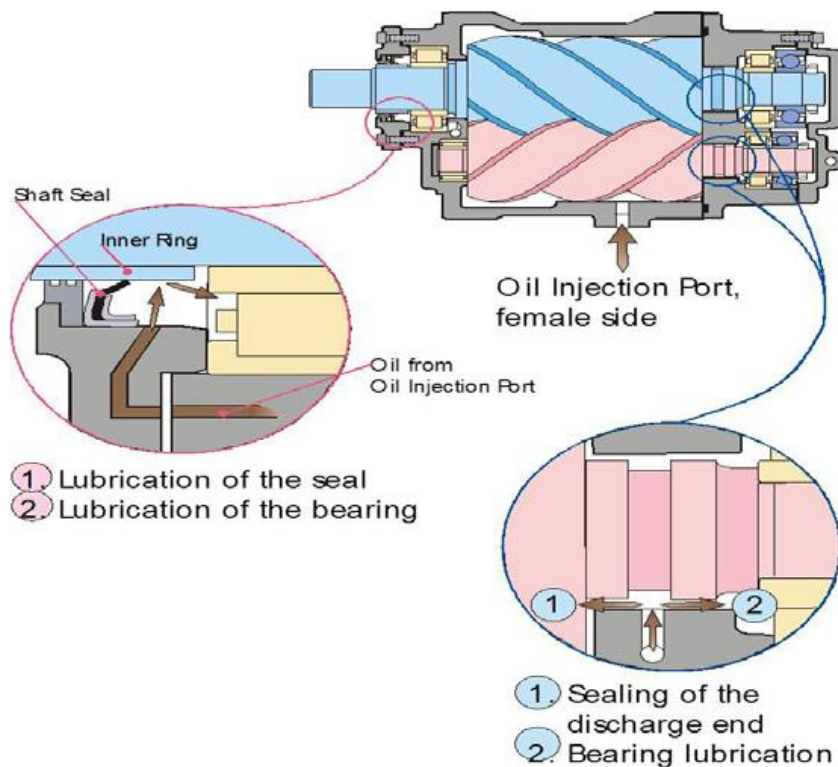
Kuva1. Ruuvikompressori

Pyöriessään roottorit imevät imuaukosta ilmaa, johon ruiskutetaan tiiviste- ja jäähdytysaineksi öljyä. Ilma-öljyseos tiivistyy roottoreiden lapojen välissä ja ilma paineistuu. Ilma-öljyseos virtaa paineaukosta ulos ja tämän jälkeen seoksesta suodatetaan öljy pois, jolloin jäljelle jää vain puhdas, paineistunut ilma. Kuvassa 2 nähdään, kuinka ilma liikkuu roottorien välissä paineaukkoon.



Kuva 2. Ilman kulku roottoreiden välissä (Gardner Denver, 2012)

Öljyä ruiskutetaan luistiroottorin puolelta noin yksi tilavuusprosentti ilman määrästä. Öljyn tehtävä on tiivistää vuodot, jäähdyttää ja voidella roottoreita ja laakereita (kuva 3).



Kuva 3. Öljyn syöttö ja voitelukanavat. (Gardner Denver, 2012)

4 KONEISTUSSOLU

Koneistussolu on itsenäinen valmistusyksikkö, jossa pyritään tekemään osa tai osakokonaisuus valmiiksi yhdellä impulssilla, jos tämä vain on mahdollista. Yleensä soluun kuuluu useampi valmistusvaihe, joita solun työntekijät käyttävät ristiin. Solussa on enemmän työpisteitä kuin työntekijöitä. Solutyöskentelyyn vaaditaan moniosaamista, minkä vuoksi solutyöskentely koetaan monesti myös mielekkääksi. Solu ratkaisuja on useita, niitä pyritään luomaan valmistettavien osien mukaan. (Lapinleimu I, Kauppinen K, Torvinen S 1997 85-86.)

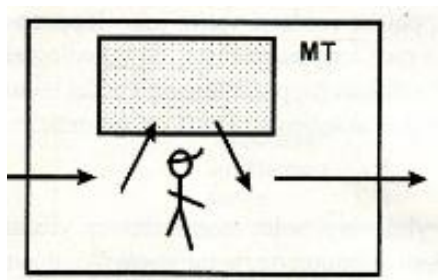
4.1 Solutyypit

Selkein ja yksinkertaisin solu on yhden monitoimikoneen solu (kuva 4). Usein osia ei kuitenkaan pystytä valmistamaan yhdellä koneella valmiiksi asti, joten lähes yhtä selkeä ratkaisu on kahden koneen muodostama kone pari. (Lapinleimu I, Kauppinen K, Torvinen S 1997 89.) Tällöin kuvan 4 koneen viereen asetetaan toinen monitoimikone ja kappaleet kulkevat kuvan 4 koneen kautta seuraavalle koneelle. Kappaleiden siirrot koneisiin ja koneelta toiselle tapahtuvat palveluroboteilla. Kahden koneen konepari voidaan toteuttaa siten, että toinen kone on niin sanottu pääkone ja toinen kone on selvästi vain apukone. Tämän kaltaisessa ratkaisussa valmistuksen pääpaino on koneella 1.

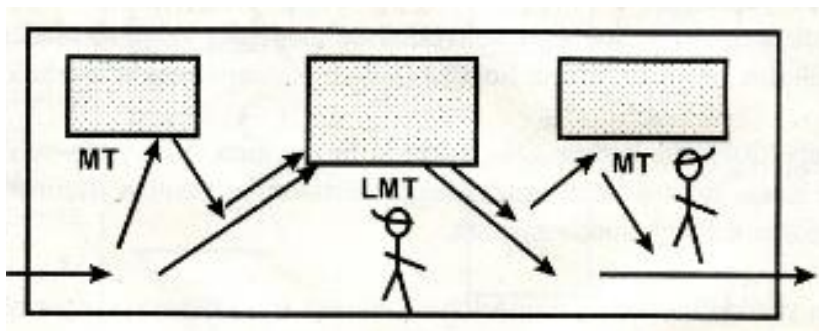
Useamman koneen muodostama solu on parhaimmillaan linjatyyppisenä (kuva 5). Kuvassa 5 linja on rakennettu siten, että keskellä sijaitseva kone (LMT) on solun johtokone ja sen molemmilla puolilla sijaitsevat koneet ovat apukoneita. (Lapinleimu I, Kauppinen K, Torvinen S 1997 89.) Kappale virta tapahtuu nuolien osoittamalla tavalla. Osa kappaleista kulkee suoraan johtokoneelle ja tulevat suoraan valmiiksi ja osa kappaleista kulkee apukoneiden ja johtokoneen kautta.

Solussa olisi tärkeää, että kaikilla vaiheilla olisi suhteellisen sama tahtiaika. Solun kapasiteetti määräytyy hitaimman koneen mukaan, joten solu on niin nopea kuin sen hitain kone on. Tahtiajan ollessa eri, muut koneet joutuvat odottamaan hitaimman koneen toimiessa. Pieniltä odotteluilta tuskin pystytään välttymään,

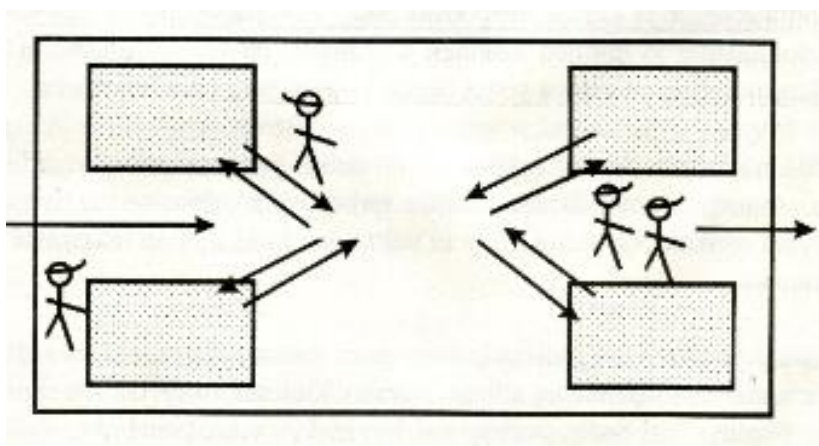
mutta kappaleet, joiden tahtiajat eroavat merkittävästi toisistaan voidaan valmistaa koneryhmä tyyppisessä solussa, joiden toiminta tapa on funktionaalinen. Tällöin kappaleet työstetään erijärjestyksessä ja solun sisäinen työnjärjestely perustuu pienimuotoisuuteen (kuva 6). (Lapinleimu I, Kauppinen K, Torvinen S 1997 89.)



Kuva 4. Yhden monitoimikoneen muodostama solu (Lapinleimu I, Kauppinen K, Torvinen S 1997 88.)



Kuva 5. Linjamuotoinen solu (Lapinleimu I, Kauppinen K, Torvinen S 1997 88.)



Kuva 6. Koneryhmätyyppinen solu. (Lapinleimu I, Kauppinen K, Torvinen S 1997 88.)

Solujen ollessa itsenäisiä valmistusyksiköitä niillä tulee olla omat työvälineet, jotka ovat järjestyksessä ja helposti saatavilla. Asetukset pyritään tekemään liittäin työvaiheiden kanssa. (Lapinleimu I, Kauppinen K, Torvinen S 1997 90.)

Solujärjestelmällä pystytään helpottamaan tuotannonohjausta ja vähentämään työntekijöihin kohdistuvaa fyysistä rasitusta. Vaiheiden yhdistäminen solussa johtaa läpäisyajan lyhenemiseen ja vähentää keskeneräistä tuotantoa. (WIP, KET). (Lapinleimu I, Kauppinen K, Torvinen S 1997 92.)

4.2 Solun tuotannonohjaus

Soluratkaisulla pystytään helpottamaan tuotannonohjattavuutta solun itsenäisyyden takia. Solun pääidea on nimenomaan impulssien vähyys. Solut hoitavat oman työjärjestyksensä lisäksi myös siirrot, laadunvalvonnan ja työkaluhuollon itsenäisesti. Solun työntekijät valvovat itse jokaista työvaihetta. Tällä tavalla ratkaisujen teko vastuu tuodaan lähemmäksi paikkaa, jossa ratkaisujen tarve syntyy. Tällä tavalla tasojen välinen tiedonsiirto vähenee ja tiedonkulku sekä reagoitakyky mahdollisiin laatupoikkeamiin nopeutuu. Usein kappaleiden laatu poikkeama huomataan vasta seuraavassa vaiheessa ja näin ollen koko sarja saateen joutua hylkäämään tämän vuoksi. Solujärjestelmä on siis yksi Lean-toimintatavan avaintekniikoita. (Lapinleimu I, Kauppinen K, Torvinen S 1997 93.)

4.3 Tuottavuus

Solussa työntuottavuus lähtee useamman koneen yhtäaikaaisesta käytöstä ja lyhyistä asetusajoista. Asetusajat ovat niitä asioita joihin yksittäinen työntekijä pystyy osaltaan vaikuttamaan. Työntekijän nopeuteen vaikuttavat ammattitaito ja työmotivaatio. Näitä pystytään kehittämään erilaisilla koulutuksilla ja ammattitaito kehittyy työnoppimisen ja rutiinien kautta. Motivaatioon pystytään vaikuttamaan työviihtyvyydellä ja työn mielekkyydellä. Vaihtelevan työn on havaittu olevan mielekkäänpää kuin yksitoikkoisen työn (Peltonen & Ruohotie 1987, 23–24.) Solutyöskentelyssä työskennellään usealla eri koneella ja työpisteellä, lisäksi kappaleiden laadusta vastaaminen tuo työntekijälle lisää vastuuta, mikä osaltaan nostaa työntekijän arvontunnetta ja lisää työmotivaatiota. Solun käyttäjien korkea

motivaatiotaso tukee menetelmien kehitystä, mikä lisää tuottavuutta. Kääntöpuolella tässä saattaa olla kappaleen vaiheikojen merkittävä lyheneminen. Lyhyet vaiheajat yhdistettynä matalaan automaatioasteeseen lisäävät työntekijän pakkohtaisuutta ja työn kuormittavuutta. Tämä saattaa aiheuttaa motivaation vähenemistä ja kehitysvastaisuutta. Tämä taas aiheuttaa tuottavuuden hiipumista. Pakkohtaisuutta saadaan poistettua automaatioastetta nostamalla.

4.4 Lean-ajattelumalli

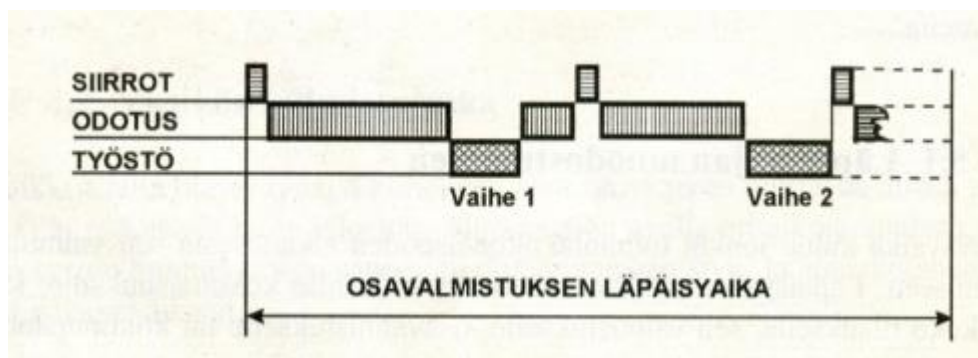
Lean-ajattelumalli on lähtöisin Japanista Toyotan tehtaalta. Lean-ajattelun pohjana on TPS (Toyota Production Systems) jonka kehittäjänä tunnetaan Toyotan perustaja Sakichi Toyoda, hänen poikansa Kiichiro Toyoda ja tuotantoinsinööri Taiichi Ohno. Heidän ajatuksien mukaan laitteet suunnitellaan pysähtymään ja hälyttämään automaattisesti, kun ilmenee ongelma. Näin säästytään kuluttamasta aikaa, jo pilalle menneeseen kappaleeseen.

Ajattelussa keskeisiä osia ovat filosofia eli pitkäntähtäimen ajattelu, prosessit eli hukan eliminointi, työntekijät ja yhteistyökumppanit ja ongelmanratkaisu. Ajattelumalissa prosessit pyritään luomaan läpinäkyviksi. Tämä tarkoittaa sitä, että prosessit pyritäisiin luomaan sellaisiksi missä ongelmat tulisivat ilmi mahdollisimman nopeasti. Hukan minimointi tarkoittaa kaiken turhan minimointia, vain tarpeeseen tehtyjä kappaleita, vain tarvittavia työmenetelmiä sekä prosessin pysähtymistä heti kun ongelma ilmenee. Työntekijöitä ja yhteistyökumppaneita pitää kunnioittaa, haastaa ja auttaa heitä kehittymään paremmiksi. Ongelmanratkaisu pitää sisällään jatkuvan parantamisen ja oppimisen filosofian. Siinä pyritään luomaan oppiva organisaatio. Jokaisen tulisi tuntea oma toiminta alueensa läpikotaisin ja pyrkiä kehittämään sitä. (TAMK-opetusmateriaali)

4.5 Läpäisy aika

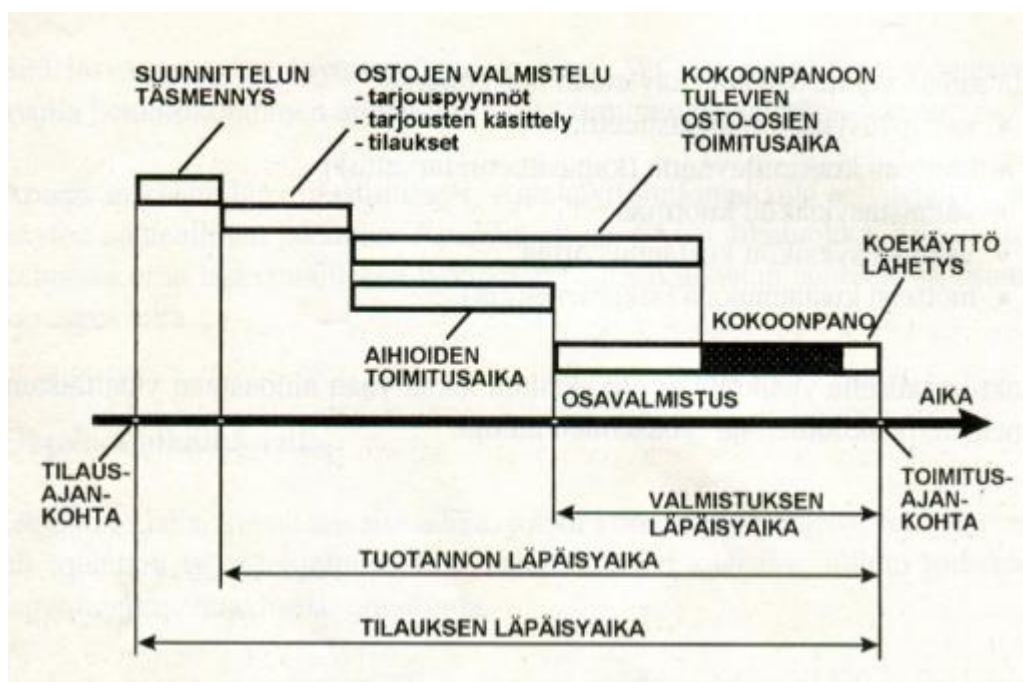
Läpäisy aika on tuotannon tärkeimpiä mittareita. Läpäisy aika on jonkin tuotteen koko valmistuskaari. Aloituksesta, valmiiksi asti. Läpäisy aika voidaan määritellä erilaisille kokonaisuuksille ja eriyttää vaikka yksittäiselle kappaleelle. Otetaan esimerkiksi yksittäinen akseli. Sen valmistus läpäisy aika on ahiosta valmiiksi akseliksi asti. Koko se aika minkä akseli viettää valmistusyksikössä siihen asti, kunnes

se on valmiina akselina, kokoonpanon hyllyssä on sen akselin läpäisyäikää. Jos akseli valmistuksen aikana odottaa vaiheesta toiseen siirtymistä, vaikka viikon, sen läpäisyäika venyy viikolla. Kuvassa 7. nähdään yksittäisen osan läpäisyäika. Pystyviivoituksella merkatut palkit ovat arvoa tuottamatonta aikaa eli niin sanottua hukkaa ja ristiviivoituksella merkatut palkit ovat arvoa tuottavaa aikaa.



Kuva 7. Osavalmistuksen läpäisyäika (Lapinleimu, 1997, s.54)

Kuvassa 8 on kuvattu kokonaisen tilauksen läpäisyäika. Tilauksen läpäisyajasta yksittäisen osanvalmistuksen läpäisyäika saattaa olla vain pieni osa, mutta odotus aikojen venyessä se saattaa hyvinkin viivästyttää tilauksen toimitusta ratkaisevasti.



Kuva 8. Tilauksen läpäisyäika (Lapinleimu, 1997, s.54)

5 TEOLLISUUSROBOTTI

Robotti on tietokoneohjattu työkappaleita tai työvälineitä siirtävä kone tai laite, jossa on vähintään kolme vapausastetta ja jota voidaan uudelleenohjelmoida tarpeen mukaan. Teollisuusrobottien koko vaihtelee hyvin pienistä, jopa mikrometrien liikkeisiin kykenevistä roboteista, parin tonnin painoisia kappaleita siirteleviin hydraulisiin robotteihin. (Kuivanen, 1999, s13.)

5.1 Teollisuusrobotit yleistyvät

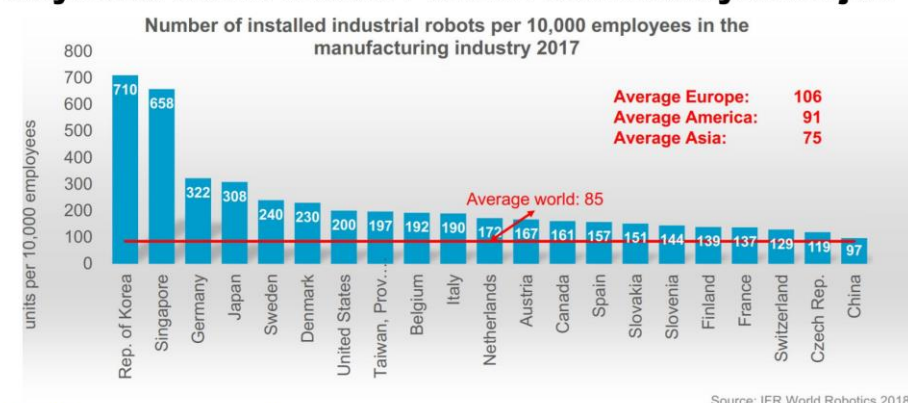
Teollisuusrobotit yleistyvät niin Suomessa kuin maailmallakin. Suomessa uusien teollisuusrobottien asennukset ovat pysyneet suhteellisen vakiona viimeisen 15 vuoden aikana (kuva 9). Kuitenkin maailmalla teollisuusrobottien määrä on moninkertaisesti suurempi Suomeen verrattuna (kuva 10). Ruotsissa ja Tanskassakin on noin sata robottia enemmän 10000:ä työntekijää kohden kuin Suomessa. Suomen Robotiikkayhdistyksen ennuste povaa keskimäärin 14%:n kasvua seuraavien vuosien osalle.

Vuosittain käyttöönotetut teollisuusrobotit Suomessa



Kuva 9. Käyttöönotetut teollisuusrobotit suomessa (http://robayhd.fi/wp-content/uploads/2019/09/Teollisuusrobottitilastot_2017.pdf)

Käytössä olevat robotit / 10.000 teollisuustyöntekijää



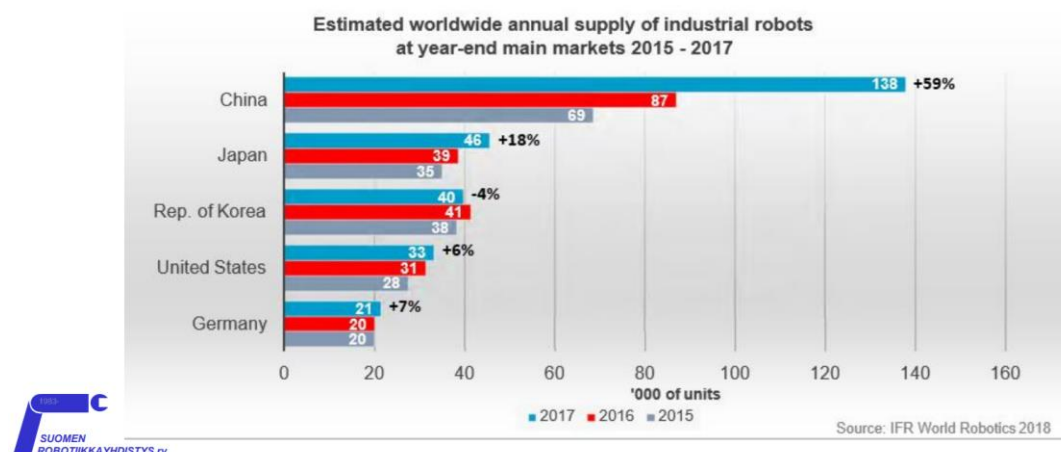
https://ifr.org/downloads/press2018/WR_Presentation_Industry_and_Service_Robots_rev_5_12_18.pdf

Kuva 10. Käytössä olevien robottien määrä per 10000 työntekijää. (http://ro-boyhd.fi/wp-content/uploads/2019/09/Teollisuusrobottitilastot_2017.pdf)

Maailmalla mennään vielä lujempaa. Esimerkiksi Kiina satsaa nyt isosti teollisuusroboteihin. Vuonna 2017 siellä käyttöön otettiin 139000 uutta robottia mikä oli 59% enemmän kuin edellisvuonna (kuva 11). Vuonna 2017 Kiina oli robotti tiheydeltään vielä Euroopan keskiarvon alapuolella, mutta jos kehitys jatkuu samanlaisena, se tulee menemään nopeasti ohitse.

Maailman teollisuusrobotit lukuina

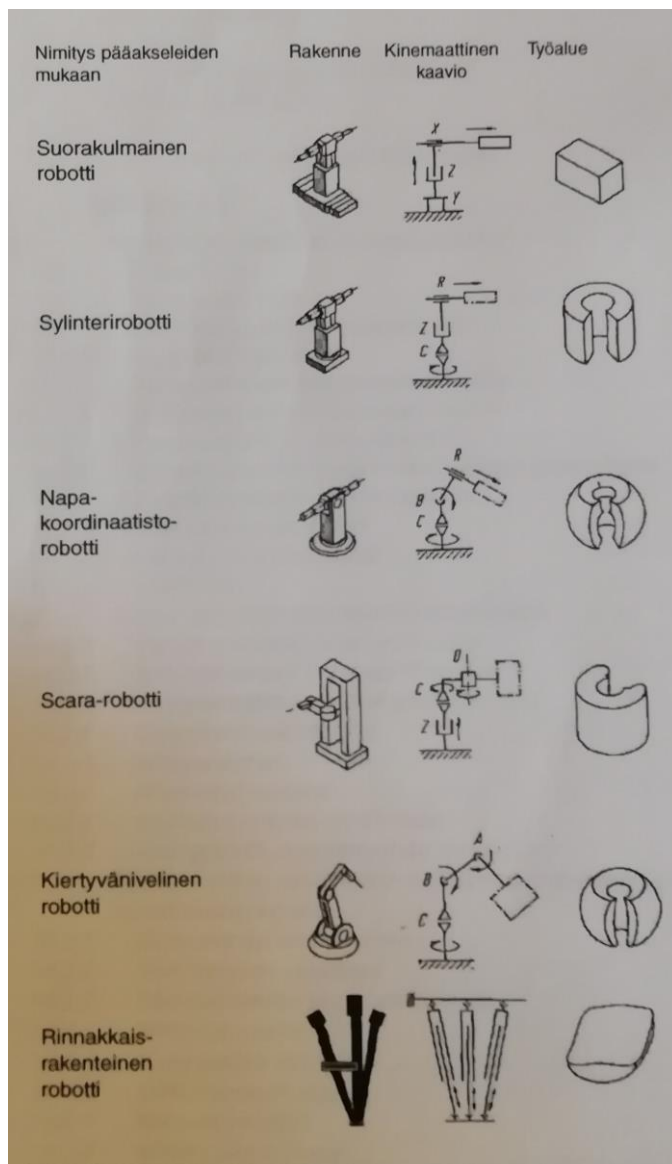
TOP 5 maiden osuus 73 % vuonna 2017



Kuva 11. Teollisuusrobotit maailmalla

5.2 Robottityypit

Erilaisia robottityyppejä on todella paljon ja koko ajan niitä keksitään lisää. Yleisimmät rakenteet on esitetty kuvassa 12.



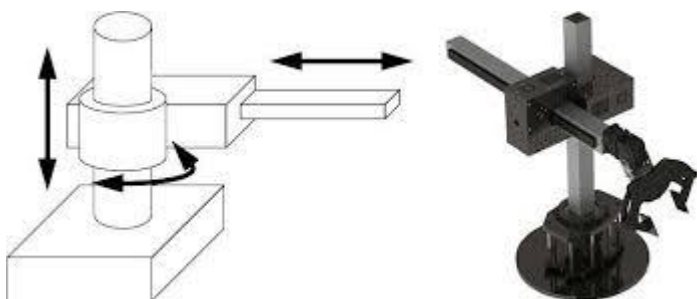
Kuva 12. Eri robottityyppien rakenteet (Kuivanen, 1999, s12.)

Kuvan 12 robottityypeistä yleisimmin käytettyjä teollisuusrobotteja ovat neljä seuraavaa:

- Sylinterirobotit
- Suorakulmaiset robotit
- Scara-robotit
- Kiertyväniveliset robotit

5.2.1 Sylinterirobotit

Sylinterirobotti nimitys tulee robotin sylinterinmallisesta työalueesta. Robotissa on käsivarsi, joka liikkuu vaakasuunnassa eteen ja taakse. Käsi varsi on kiinnitetty pysty akseliin, jonka varassa käsivarsi pyörii ympäri ja liikkuu ylös ja alas (kuva 13).



Kuva 13. Sylinterirobotti (Mahla, 2017, s13)

5.2.2 Suorakulmaiset robotit eli porttaalirobotit.

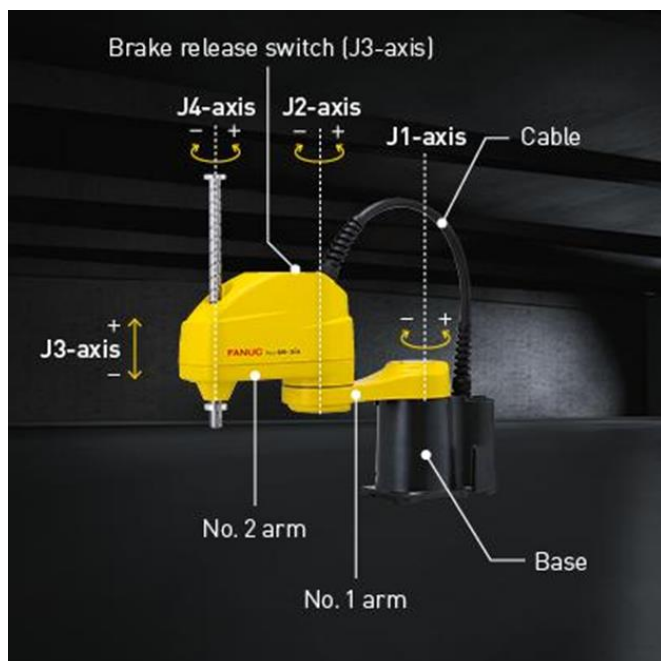
Suorakulmaisten robottien liikeradat ovat lineaarisia. Robotti on kiinnitetty kiskoille, yleensä halutun työalueen yläpuolelle. Robotti liikkuu kiskoilla X, Y-suunnassa ja käsivarsi liikkuu Z-suunnassa ylös ja alas (kuva 14).



Kuva 14. Porttaalirobotti. (<https://www.robots.com/faq/what-are-gantry-robots>)

5.2.3 SCARA-robotit

Scara-robotissa (Selective Compliance Assembly Robot Arm) on kaksi käsivartta ja kolme kiertyvää niveltä, joiden ansiosta työkalu saadaan oikeaan kohtaan. Näiden lisäksi robotin työkalu liikkuu vielä pystysuunnassa (kuva 15).



Kuva 15. SCARA-robotti. (<https://www.fanuc.eu/de/en/robots/robot-filter-page/scara-series/selection-support>)

5.2.4 Kiertyvänivelinen robotti

Kiertyvänivelisessä robotissa (kuva 16) kaikki vapausasteet ovat kiertyviä. Tavallisimmat teollisuusrobotit ovat juuri kiertyvänivelrobotteja. Monikäyttöisimmät teollisuusrobotit ovat kuuden vapausasteen robotteja. Kuuden vapausasteen ansiosta työkalun saa mihin asentoon tahansa.



Kuva 16. ABB kiertyvänivelinen robotti. (<https://www.cleanpng.com/png-abb-group-industrial-robot-articulated-robot-indus-953536/>)

5.3 Robotin työkalut

Robotteihin on saatavilla erittäin paljon erilaisia työkaluja. Työkalulla tarkoitetaan robotin sitä mekaanista osaa, jota robotti liikuttaa asemasta toiseen. Työkaluista yleisimpiä ovat erilaiset tarraimet, hitsauspistoolit ja maaliruiskut (Kuivanen, 1999, s60). Tarraimella tartutaan kappaleeseen ja siirretään se haluttuun paikkaan. Tarraimia voidaan suunnitella kappalekohtaisesti, mutta valmiita ratkaisujakin on useita. Yleisimpiä tarraimia ovat alipaineella toimivat imukuppitarraimet, mekaanisesti toimivat sormitarraimet ja magneettiset tarraimet.

Imukuppitarraimilla siirrellään suuria hankalasti tartuttavia tai helposti rikkoutuvia kappaleita kuten levyjä ja laseja. Imukuppitarraimella siirrettävien kappaleiden pinta pitää olla sileä, jotta alipaine pysyy imukupin sisällä. Kappaleen painon lisäntyessä imukuppeja voidaan lisätä mahdollisuuksien mukaan (kuva 17).



Kuva 17. Imukuppitarrain (dreamstime, internet-sivut)

Mekaanisilla-, eli sormitarraimilla (kuva 18) voidaan siirrellä eri muotoisia kappa-
leita. Sormien liikkeet tuotetaan erilaisille mekaanisilla ratkaisuille kuten nivelme-
kanismi, hammaspyörä ja hammastanko, ruuvi tai vaijeriväkipyörä. Tarraimen,
toiminta koostuu toimilaitteesta, mekanismista, sormista ja kynsistä. (Kuivanen,
1999, s63) Sormien lukumäärä vaihtelee yleensä kahdesta neljään, mutta use-
ampisormisiakin tarraimia on myös olemassa. Sormien lukumäärä, malli ja me-
kanismi suunnitellaan tapauskohtaisesti.



Kuva 18. Schunkin kahden sormen tarrain (https://schunk.com/de_en/gripping-systems/series/spg/)

Magneettitarra-ain (kuva 19) soveltuu magneettisten aineiden käsittelyyn. Kuten alipainetarra-ainkin, magneettitarra-ain tarvitsee toimiakseen riittävän suuren ja tasan tartuntapinnan. Magneettitarra-ain on yleensä sähkötoiminen, jossa magneettikentän suuntaa voidaan muuttaa kiinnittäessä ja irrottaessa. Näin irrotus nopeutuu. (Kuivanen, 1999, s64)



Kuva 19. Schunkin magneettitarra-ain. (https://schunk.com/de_en/gripping-systems/category/gripping-systems/schunk-grippers/magnetic-gripper/)

Näiden lisäksi tavallisimpia työkaluja ovat jyrsin tai hiomalaitteet, polttoleikkain, valukauha sekä ruuvaustyökalut ja niittauslaitteet. Muotopoikkeamista johtuvat epätarkkuudet ovat korjattu työkalun joustavuudella. Esimerkiksi jäysteenpoistossa hiontatyökalu joustaa, kun voima kasvaa liian suureksi. (Kuivanen, 1999, s77)

6 TERÄKSEN JA VALURAUDAN EROT

Materiaalien kovuudet ja muut ominaisuudet vaikuttavat niiden koneistukseen huomattavasti. Esimerkiksi valuraudalla ja teräksellä on huomattavia ominaisuuseroja, jotka pitää huomioida, kun aletaan suunnittelemaan näiden aineiden koneistusta. Lähes kaikille materiaaleille löytyy omat teräpalansa, hiomalaikkansa ja leikkuunesteensä.

6.1 Teräs

Teräksellä tarkoitetaan seostettua rautaa, jonka hiilipitoisuus on alle 2%. Teräksessä on raudan (Fe) ja hiilen (C) lisäksi muitakin seosaineita kuten piitä (Si) ja mangaania (Mn), kromia (Cr), molybdeenia (Mo) ja nikkeliä (Ni). Seosaineilla pyritään vaikuttamaan teräksen ominaisuuksiin kuten koneistettavuuteen tai hitsattavuuteen. Terästen ryhmittely on epäjohdonmukaisempaa kuin valuraudoilla. Jotkut teräkset ryhmitellään niiden hiilipitoisuuden mukaan, kuten matalahiilisiin (hiiltä alle 0,25%), keskihiilisiin (hiiltä 0,25-0,6%) ja runsashiilisiin (hiiltä 0,6-1,4%). Hiilipitoisuuden kasvaessa kovuus ja lujuus kasvaa, mutta sitkeys heikkenee. (Tuomikoski 2010,131.)

Terästä koneistettaessa tärkeitä arvoja ovat lastun muodostuminen, terän kuluminen, koneen tehon tarve ja pinnanlaatu. Esimerkiksi kova kappale kuluttaa teräpalaa enemmän kuin pehmeä kappale. Tästä voisi päätellä, että vähähiilisempi on helpommin koneistettavaa. Myös työstökoneen tehon tarve kasvaa kovemmillä kappaleilla, toisaalta pehmeämmällä kappaleella lastun muodostuminen voi olla ongelma. Pehmeällä kappaleella lastu pyrkii muodostumaan pitkäksi soiroksi, joka on hankalaa poistaa koneesta tai pitkä lastu saattaa kietoutua kappaleen ympärille ja lähteä pyörimään sen mukana. Koneistettu lastu pitäisi pyrkiä pitämään lyhyenä niin sanotusti murumaisena, jotta se olisi helpompi poistaa koneesta, eikä se aiheuttaisi ongelmia koneessa. Myös lämpökäsittelyllä voidaan vaikuttaa teräksen ominaisuuksiin. Karkaisulla saadaan kappaletta kovemmaksi ja hehkutuksella sitä voidaan pehmentää. (Tuomikoski 2010,131.)

6.2 Valurauta

Valurautaa käytetään yleisemmin mm. työstökoneiden rungoissa, keskikokoisten ja pienten polttomoottorien sylinterien lohkoissa, autojen jarrulevyissä. Kotitalouksissa valurautaa käytetään keittolevyissä, paistinpannuissa, puuliesien arinoissa ja uuninluukuissa. Pallografiittivalurauta käytetään vaihteiden hammaspyörissä, kuormitetuissa vivuissa ja akselitapeissa. (Tuomikoski 2010,151.)

Määritelmän mukaan valuraudan Fe-pitoisuus on vähintään 50% ja C-pitoisuus vähintään 2%. Todellisuudessa niiden hiilipitoisuus vaihtelee 2,0 - 4,1%. Valuraudan kiderakenne koostuu grafiitista ja matriisista. Suurin osa hiilestä on yleensä grafiittisulkeumina, mutta merkittävä osa siitä on myös matriisin karbidikiteissä rautaan ja seosaineisiin yhtyneenä. Grafiittisulkeutumien muoto, koko ja jakautumismalli vaikuttaa oleellisesti valuraudan ominaisuuksiin, koska grafiitilla on matriisiin verrattuna pieni vetomurtolujuus, pieni sitkeys ja olematon muovattavuus. Valuraudat on ryhmitelty grafiittisulkeumien muodon perusteella eri tyyppeihin. Kaksi yleisintä valurauta tyyppiä on suomugrafiittiraudat ja pallografiittiraudat. Suomugrafiittiraudoissa (GJL) grafiitti esiintyy suomumaisina liuskoina. Pallografiittiraudoissa (GJS) grafiitti esiintyy pallonmuotoisina sulkeumina. Valuraudalla on hyvä värinän vaimennuskyky ja se säilyttää muotonsa ja mittansa lämpötilan vaihtuessa paremmin kuin teräs. Valurauta valmistetaan valumuotteihin valamalla. Valuraudat valetaan 300 astetta alemmassa lämpötilassa kuin valuteräkkeet, joten ne ovat halvempia valmistaa. Lisäksi valurauta juoksee ohuemiksi seinämiksi, antaa paremman mittatarkkuuden ja on valettavissa pienemmillä työvaroilta kuin teräs (Tuomikoski 2010,151.).

7 ROOTTORIKONEISTUKSESSA KÄYTETTÄVÄT TYÖSTÖMENETELMÄT

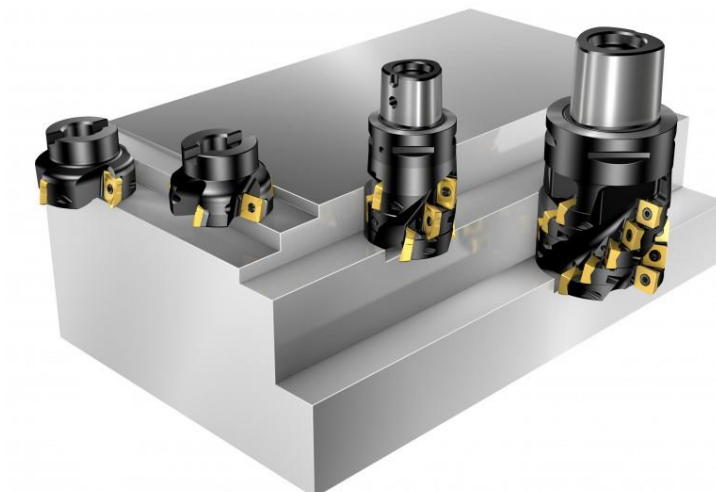
Gardner Denver Oy:n roottorien koneistusvaiheet on pyritty minimoimaan. Vaiheita on ollut aikoinaan runsaasti, mutta aktiivisen kehittämisen ansiosta ne on saatu minimoitua kolmeen. Jokainen vaihe tehdään tällä hetkellä erikseen. Kappaleet nostetaan kuormalavoilta ensin palleille, jotka nostetaan kappaleenvaihtoporttaalin rullaradalle. Porttaali nostaa kappaleet koneeseen ja kappaleiden valmistuttua tuo ne aina takaisin palleille. Palleille mahtuu 6 – 51 kappaletta, sen mukaan minkä kokoinen kappale on kyseessä. Kun palleille asetettuihin kappaleisiin on tehty kyseinen vaihe, rullarata siirtää sen eteenpäin, josta koneen käyttäjä hakee pallein. Tämän jälkeen kappaleet nostetaan takaisin kuormalavoille ja siirretään niillä odottamaan seuraavaan vaiheeseen.

7.1 Sorvaus/jyrsintä

Sorvaus ja jyrsintä ovat kappaleen työstömenetelmiä, joissa terän avulla poistetaan kappaleesta materiaalia. Sorvissa tavallisesti kappale pyörii ja terä tekee pituus- ja poikittaissuuntaista liikettä (Chryssolouris, 2006, s.72). Sorvausterä on yksi hampainen (kuva 20). Sorvaamalla valmistetaan normaalisti pyörähdyskappaleita, kuten akseleita, kiekkoja, ruuveja, kartioita, holkkeja jne. (Ansaharju, 1989, s.133). Jyrsinnässä taas yleensä terä pyörii ja kappale pysyy paikallaan (kuva 21). Jyrsinterä on monihampainen ja sillä valmistetaan tasomaisia kappaleita, uria tai hammasmuotoja (Ansaharju, 1989, s.255).



Kuva 20. Kappaleen sorvaus. (<https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/general-turning/pages/default.aspx>)



Kuva 21. Kappaleen jyrsintä. (<https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/milling/pages/shoulder-milling.aspx>)

Moniakselikoneet ovat mahdollistaneet yhdistää edellä mainittuja kahta menetelmää toisiinsa. Sorveihin on mahdollista lisätä pyöriviä työkaluja, joilla voidaan jyrsiä akseleihin kiilauria ja avainvälejä. Lisäksi nykyisin valmistetaan 5-akseli sorveja, joilla pystytään jo tekemään melkein minkälaisia muotoja tahansa. Sorveilla pystytään sorvauksen lisäksi jyrsimään, poraamaan, kierteyttämään, avartamaan, hammastamaan ja mittaamaan. Pystytään valmistamaan monimutkaisiakin kappaleita yhdellä kiinnityksellä valmiiksi asti (kuva 22).



Kuva 22. 5-akseli koneella valmistettu kampiakseli. (<http://www.laatukattila.fi/extranet/ext/cms3/attachments/pajamies-1-2015.pdf>)

Gardner Denverillä roottorien rouhintavaihe on kehittynyt todella paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana. Vaihe on kehitetty niinkin pitkälle, että se tapahtuu nykyään yhdellä 5-akselisorvilla. Teräksisistä kappaleista osa valmistetaan suoraan työvaralle sahatusta ahiosta. Suurin osa teräksisistä kappaleista käy kuitenkin alihankinnassa esikoneistuksessa, jossa sahatun aihio pituus sorvataan mitoilleen ja kappaleeseen tehdään keskiökolot ja toiseen päähän sorvataan kiinnityspinta. Valurautaiset roottorit sorvataan valmiiksi asti alihankinnassa ja Gardner Denverillä rouhinta jyrситään vain ruuvimuoto. Tämän lisäksi ruuvimuotoonkin on valettu jo siten, että sen pinnalle jää vain muutama millimetri työvaraa, joten valurautaisten kappaleiden rouhintavaihe on paljon nopeampi kuin teräksisillä.

Teräpalat tulisi valita koneistettavan materiaalin mukaan. Teräpala valintaan vaikuttaa seostus, lämpökäsittelyt ja kovuus. Materiaaliominaisuudet ohjaavat terägeometrian ja -laadun sekä lastuamisarvojen valintaa. Materiaalit on ISO-standardisoitu kuuteen pääryhmään, jotka ilmoitetaan kirjaimella. Pääryhmät ja niiden soveltuvuudet löytyvät esimerkiksi Sandvik Coromantin internet-sivuilta seuraavasti:

- ISO P- Teräkset on isoin lastuttavien materiaalien ryhmä, johon kuuluu mm. niin seostamattomia kuin runsasseosteisia lajeja sekä teräsvaluja ja ferriittisiä ja martensiittisiä ruostumattomia teräksiä. Terästen lastuttavuus on yleensä hyvä mutta vaihtelee laajalti riippuen mm. kovuudesta ja hiili- pitoisuudesta

- ISO M – Ruostumattomissa teräksissä on runsas, vähintään 12 prosentin kromiseostus. Muita seosaineita ovat esimerkiksi nikkeli ja molybdeeni. Ruostumattomat teräkset muodostavat ison ryhmän, joka jakautuu moniin alaryhmiin: ferriittiset, martensiittiset, austeniittiset ja austeniittis-ferriittiset (duplex). Yhteistä näille kaikille on, että lastuava terä kuumenee voimakkaasti ja altistuu lovikululle ja irtosärmänmuodostukselle.
- ISO K – Toisin kuin teräkset, valuraudat ovat lyhytlastuisia aineita. Harmaat valuraudat (GCI) ja adusoidut valuraudat (MCI) ovat helposti lastuttavia, kun taas pallografiittivaluraudat (NCI), tylppägrafiittivaluraudat (CGI) ja austemperoidut valuraudat (ADI) ovat vaikeampia. Kaikki valuraudat sisältävät piikarbidia (SiC), joka kuluttaa teräsärmää erittäin abrasiivisesti.
- ISO N – Ei-rautametallit, esimerkiksi alumiini, kupari ja messinki, ovat rautametalleja pehmeämpiä. Vähintään 13 % piitä (Si) sisältävä alumiini on kuitenkin erittäin abrasiivista. Terävasärmäisillä terillä voidaan yleensä käyttää isoja lastuamisnopeuksia tinkimättä kestoikästä.
- ISO S – Kuumalujat superseokset on iso ryhmä, johon kuuluu runsaasti seostettuja rauta-, nikkeli-, koboltti- ja titaanipohjaisia materiaaleja. Ne ovat tahmeita, aiheuttavat irtosärmänmuodostusta, kovettuvat lastuttaessa (työstökarkeneminen) ja kehittävät lämpöä. Ryhmä muistuttaa ISO M -materiaaleja, mutta superseokset ovat paljon vaikeampia koneistaa ja teräsärmien kestoikä jää lyhyemmäksi.
- ISO H – Tähän ryhmään kuuluu teräksiä, joiden kovuus vaihtelee välillä 45–65 HRc, sekä myös kokillivalurautoja, joiden kovuus on noin 400–600 HB. Kovuus tekee näiden materiaalien koneistuksesta hankalaa. Lastuamisen aikana kehittyä lämpöä, ja aineet kuluttavat teräsärmää erittäin abrasiivisesti. (<https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>)

7.2 Pyöröhionta

Pyöröhionta on yleisin pyörähdyskappaleiden viimeistelytekniikka, jossa kappaleen pintaa tasoitetaan tasaisemmaksi ja mitat tarkemmiksi. Hionnassa työkaluna käytetään pyörivää hiomalaikkaa. Hiomalaikka koostuu pienistä jyvistä, jotka leikkaavat hiottavasta kappaleesta pieniä lastuja (Chryssolouris, 2006, s.75). Toisin kuin jyrsimessä, hiomalaikassa näitä leikkaavia ”teriä” (hiomajyvät) on huomattavasti enemmän ja nämä yksittäiset jyvät ovat niin pieniä, että niitä on paljaalla silmällä hankala erottaa (Ansaharju, 1989, s.90).

Hiomajyvät ovat kiinni toisissaan sideaineella, jonka määrä vaikuttaa siihen kuinka kovasta laikasta on kyse, jos side ainetta hiomajyvien välissä on vähän, hiomajyvät irtoavat helposti sideaineesta ja laikka on pehmeä. Paljon sideainetta omaavassa laikassa, hiomajyvät kestävät paljon hiontapainetta ja irtoavat huommin sideaineesta ja näin ollen hiomalaikka on kova. Nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että pehmeille aineille valitaan kova laikka ja koville aineille pehmeä laikka (Ansaharju, 1989, s.93).

Hiomalaikkojen yleisimpiä hioma-aineita, eli hiomajyvien materiaaleja ovat alumiinioksidi (A), piikarpidi (C), timantti (D) ja CBN-laikat.

- Alumiinioksidi on yleisimmin käytetty hioma-aine. Se soveltuu sitkeiden aineiden kuten hiili-, seos- ja pikaterästen hiontaan.
- Piikarbidi soveltuu sellaisten aineiden hiontaan, joiden vetolujuus on pieni, kuten valuraudan, messingin, alumiinin ja kovametallin.
- Timantti on kovin tunnetuista aineista. Se soveltuu kovametallien, lasin, ja keramiikan hiomiseen.
- CBN-laikkoja käytetään karkaistun teräksen hiontaan (>50 HRC) ja yleishiontaan.

Roottorien lähes kaikki akselipinnat pyöröhiotaan. Lisäksi suurimasta osasta kappaleista hiotaan muodon harjan mitoilleen ennen muodonhionta vaihetta. Muodon harjan hionta vie hionta-ajasta noin puolet. Sen kokonaan pois saanti lyhentäisi hionta aikaa merkittävästi.

7.3 Muodon viimeistelyhionta

Muodon viimeistelyhionta tapahtuu siihen tarkoitukseen valmistetulla profiilin hio-makoneella. Gardner Denverillä on kahden merkkisiä profiilinhiontakoneita. Toi-nen on TG ja toinen on Kapp. TG-merkkisellä koneella on käytössä alumiinioksi-dilaikat, kun taas Kapp-merkkisellä koneella on CBN-laikat. CBN-laikkojen etu on siinä, että niillä pystytään hiomaan isompaa työvaraa kerralla. Lisäksi ne eivät kulu samalla lailla kuin alumiinioksidilaikat. Toisaalta CBN-laikkojen uudelleen muotoilu on itse tehtynä mahdotonta koska laikat valmistetaan aina tarvittavalle muodolle erikseen. Sen jälkeen ne aina pinnoitetaan uudelleen, kun ne tylstyvät. Alumiinioksidilaikat teroitetaan timantoimalla, kuten pyöröhionnassa joten ne voi-daan muotoilla aina haluttuun muotoon.

7.4 Leikkuunesteen valinta

Valurautaa koneistettaessa suurin ongelma on grafiitin ominaisuus sotkea ko-netta ja työkaluja sekä tukkia putkistoja. Varsinkin hionnassa leikkuunesteen ja grafiitin yhdistelmä saattaa olla haastava. Leikkuunesteen tehtävä on voidella, jäähdyttää ja poistaa lastuja, eli puhdistaa leikkaavaa terää ja kappaletta. Valu-raudalle tulisi valita vähemmän voitelevampi emulsio. Lisäksi grafiitti on vaikea suodattaa pois leikkuunesteestä, jolloin se kulkeutuu myös leikkuunestesäiliöön liaten nesteen ja tukkien putkistoja. Jo valmiiksi likaantunut leikkuuneste ei hoida tehtävänsä kunnolla, jolloin grafiitti saattaa tukkia hiomalaikan, jolloin hioma-laikka lakkaa leikkaamasta. Valuraudan sorvaus ja jyrsintä voidaan suorittaa ko-konaan ilman leikkuu nestettä.

Teräksellä tulisi käyttää voitelevampaa emulsiota. Terästä koneistettaessa kap-pale ja työkalu lämpenee voimakkaasti, jolloin lastut palavat työkaluun kiinni ja näin ollen terä lakkaa leikkaamasta. Nesteessä oleva öljy voitelee ja jäähdyttää terää. Tämä estää lastuja takertumasta työkaluun kiinni ja kuljettaa niitä tehok-kaasti pois terän ja kappaleen välistä.

(<https://www.telko.com/fi/blog/yleisimm%C3%A4t-ty%C3%B6stett%C3%A4vt-materiaalit-valurauta>)

7.5 Vaiheajat

Vaiheajat on salassapidon takia ilmoitettu suhdeprosentteina (sp) (taulukko 1). Prosentit on laskettu kaavalla 1. Kaavassa 1 on käytetty lähtökohtana sorvausaikaa (ts) ja siihen on verrattu hionta-aikaa (th).

$$\frac{ts}{th} * 100 = sp$$

(1)

Esimerkiksi jos oletetaan, että jonkin kappaleen sorvausaika olisi 30 minuuttia ja hionta-aika olisi 10 minuuttia. Näin ollen suhdeprosentiksi tulisi 300%. Jos taas vaiheajat olisivat toisinpäin, eli sorvausaika olisi 10 minuuttia ja hionta-aika olisi 30 minuuttia. Suhdeprosentiksi tulisi 33%.

Taulukko 1. Sorvauksen ja hionnan aikaerot prosentteina

VALUT		TERÄKSET	
EK76 R	63 %	EN3 R	286 %
EK76 L	72 %	EN3 L	276 %
EK100 R	77 %	E3 R	183 %
EK100 L	95 %	E3 L	196 %
E12 R	89 %	E6 RKU	190 %
E12 L	74 %	E6 RG	213 %
XK12 L	118 %	E6 L	226 %
E25 R G	94 %	EK100 R	177 %
E25 L	79 %	EK100 L	274 %
XK12 R	77 %	E12 RKU	341 %
XK18 R	86 %	E12 TS	248 %
XK18 L	80 %	E12 L	181 %
Keskiarvo	85 %	E25 R	292 %
		E25 L	154 %
		E25 DG	191 %
		Keskiarvo	228 %

Taulukossa 1 nähdään, että teräksisillä kappaleilla sorvausaika on lähes 2,5 kertaa pidempi kuin pyöröhionta-aika, kun taas valurautasilla ajat ovat lähes samoja. Sorvausaika on valurautaisilla kappaleilla jopa hieman nopeampi.

8 KONEISTUSSOLURATKAISU

Luvussa neljä kerrottiin, että koneistussoluun voi kuulua yksi tai useampi kone tai laite ja robotti. Soluja voi myös yhdistellä isommiksi soluryhmiksi. Jokainen vaihe voidaan tehdä omassa solussaan ja yhdistää solut jollain toiminnolla toisiinsa. Vaiheiden välissä kappaleet voidaan pestä pesukoneessa tai mitata mittakoneessa. Esimerkiksi eräässä pirkanmaalaisessa yrityksessä soluja on laitettu linjatyypillisesti peräkkäin. Robotti laittaa ensimmäisestä solusta valmistuneet kappaleen solujen päällä kulkevalle liukuhihnalle, joka kuljettaa kappaleen sitten seuraavaan soluun, jossa siihen tehdään seuraava vaihe.

8.1 Teräsroottorien valmistus solussa

Taulukosta 1 huomattiin, että teräsroottorien valmistuksessa vaiheajat eroavat todella paljon toisistaan. Tämä tarkoittaa sitä, että nopeampi vaihe joutuu odottamaan hitaampaa vaihetta. Robotstudio -ohjelmaa apuna käyttäen vertailtiin eri soluratkaisuja. Toimivin ratkaisu on kahden solun muodostama soluryhmä. Tähän lopputuloksen päädyttiin soluryhmän joustavuuden takia. Soluryhmä koostuisi kahdesta erillisestä solusta, joissa molemmissa on yksi kone ja yksi palvelu-robotti. Solujen väliin rakennettaisiin saareke, johon saa asetettua paletin valmiita kappaleita varten. Tällä tavalla sorvi saataisiin valmistamaan kappaleita sillä aikaa, kun hiomakoneelle tehdään asetuksia. Robotti laittaisi sorvin valmistamat kappaleet saarekkeella olevalle paletille, josta hiomakoneen robotti saisi ne otettua sitten, kun hiomakone saataisiin automaattiajolle. Näin saataisiin hyödynnettyä hiomakoneen asetus aika, mutta suurimmilla vaihe aikaeroilla odottelulta ei voida välttyä.

Käytetään esimerkkinä taulukkoa 2. Taulukossa lähtökohtana on se, että sorvin asetukset on saatu valmiiksi, sorvi laitetaan automaattiajolle ja hiomakoneen asetuksia aloitetaan tekemään. Kappaleen sorvausaika on 30 minuuttia ja pyöröhionta-aika on 15 minuuttia. Suhdeprosentti olisi tällöin 200%. Hiomakoneen asetuksiin ja ensimmäisen kappaleen mitoilleen hiontaan menisi yhteensä 4 tuntia.

Sorvi valmistaa kappaleita hiomakoneen asetusten ajan ja laittaa valmiit kappaleet saarekkeelle, kuten ylempänä kerrottiin.

Taulukko 2. Esimerkki sorvaus- ja hiontasolun käytöstä.

Sorvin tunnit	sorvin kappale määrä	Hiomako neen kappale määrä	Hiomako neen tunnit
	1		
1	2		
	3		
2	4		
	5		
3	6		
	7		
4	8		
	9	2	
5	10	4	1
	11	6	
6	12	8	2
	13	10	
7	14	12	3
	15	14	
8	16	16	4
	17	18	
9	18	20	5

← Sorvin asetukset valmiit

← Hiomakoneen asetukset valmiit

← Kaikki sorvatut kappaleet hiottu

Sorvin valmistaessa kaksi kappaletta tunnissa pyöröhiomakone ehtii hiomaan neljä kappaletta. Vaikka sorvilla on neljän tunnin etumatka, pyöröhiomakone on hionut kaikki sorvatut kappaleet valmiiksi neljän tunnin päästä siitä, kun se on saatu automaattiajolle. Tämän jälkeen hiomakone joutuu odottamaan aina 15 minuuttia ennen kuin saa taas uuden kappaleen. Tämä 15 minuutin odotusaika vaikuttaa jo koneen hiontatarkkuuteen, koska kone ehtii kylmenemään ja laikka kuivumaan. Hiomakoneella pitäisi ajaa lämmitysajoa joka kappaleen välissä, jotta mittatarkkuus pysyisi luotettavana. Tai sitten hionta-aikoja pitäisi pidentää, jotta vaiheajat pysyisivät lähempänä toisiaan.

8.2 Valurautaisten roottorien valmistus solussa

Valurautaisilla kappaleilla sorvauksen ja pyöröhionnan vaiheajat ovat lähes samoja (taulukko 1) ja pikemminkin niin päin, että pyöröhionta on hieman hitaampi kuin sorvausvaihe. Sorvi ollessa nopeampi se voi valmistaa kappaleita valmiiksi varastoon ja robotti ottaa ne sitten, kun niitä tarvitaan. Sorvilla ei myöskään kylmene tai menetä mittatarkkuuttaan niin nopeasti kuin hiomakone, vaikka se joutuisi hetken odottamaankin. Sorvilla koneistetaan kappaleet työvaroilte, joten sorvin toleranssit ovat monen kertaiset hiontatoleransseihin verrattuna. Valurautaisen kappaleiden yhdistäminen samaan soluun on valmistusajallisesti järkevämpää. Lisäksi jos solussa ajettaisiin pääsääntöisesti pelkästään valurautaa, voitaisiin työkalut, leikkuunesteet, hiomalaikat ja työstöarvot optimoida valuraudalle kuten luvussa 7 todettiin. Näin pystyttäisiin saamaan paras mahdollinen laatu ja toistotarkkuus kappaleille. Vaiheajojen ollessa lähes samat, solun pohjapiirustuksella ei ole niin suurta merkitystä, koska kappaleet siirtyvät lähes suoraan sorvilta pyöröhiontaan. Kahden erillisen solun muodostama soluryhmä on joka tapauksessa paras ratkaisu. Se loisi tarvittaessa mahdollisuuden ajaa molemmilla koneilla eri kappaleita ja mahdollistaisi työskentelyn, vaikka toinen koneista olisi vian tai huollon takia pois käytöstä.

8.3 Koneistussolu Lean-näkökulmasta

Gardner Denver Oy on sitoutunut käyttämään Lean-filosofiaa ja juuri tähän filosofiaan soluratkaisu soveltuu todella hyvin. Kuten luvussa 4.5 kuvattiin, Lean-filosofian mukaan hukan poisto on yksi pääteeseistä ja solutyöskentelyllä pyritään juuri tähän. Kuten johdannossa kävi ilmi, tuotannossa on paljon sellaisia töitä, jotka voidaan määritellä hukan piiriin. Suurin ja työntekijää kuormittavin näistä on työkappaleiden ylimääräinen nostelu, jota tulee päivän aikana lukuisia kertoja. Kappaleita nostellaan kuormalavoilta paleteille ja taas työstövaiheen jälkeen takaisin kuormalavoille. Ylimääräinen nostelu kuluttaa työntekijöitä, sekä vie päivän aikana paljon työaikaa. Tämän ajan voisi käyttää paremmin hyödyksi, jos vaiheita yhdistettäisiin ja annettaisiin robotin hoitaa kaiken nostelun. Tämän lisäksi kuormalavoja, joille kappaleet ovat pakattu, joudutaan siirtelemään ja nos-

telemaan pinontavaunuilla eli pinkkareilla hyllyyn tai muuhun vastaavaan varastopaikkaan odottamaan seuraavaan vaiheeseen pääsemistä. Syystä tai toisesta kappaleet menevät harvoin suoraan seuraavaan vaiheeseen. Tämä odottelu lisää kappaleen läpimenoaikaa huomattavasti, odottelu on myös arvoa tuottamatonta aikaa eli hukkaa.

Tuotannonohjauksellisesti katsottuna solutyöskentelyllä voidaan poistaa myös hukkaa. Solussa tuotannonohjaus toimii yhdellä impulssilla. Tällöin tuotannonohjaajan ei tarvitse käydä päivittämässä ajolistaa joka vaiheessa erikseen. Tämä helpottaa myös läpinäkyvyyttä asiakkaiden suuntaan. Jos kaikki vaiheet olisivat samassa solussa, sarjan läpimenoaika olisi helpompi sanoa tarkastikin. Tai vaikka erillisiä vaihteita olisi vain kaksi, sekin helpottaisi tilannetta. Tällä hetkellä, kun kaikki vaiheet ovat erikseen, sarjan läpimenoaikaa on huomattavasti hankalampi sanoa, koska muuttujia on paljon enemmän.

Esimerkki mahdollisesta muuttujasta on työntekijän sairastuminen tai muu poissaolo. Mikäli pyöröhionnasta työntekijä sairastuu ja vaiheet ovat erillään, kukaan ei ole lisäämässä kappaleita hiomakoneelle. Sorvausvaiheen työntekijöillä ei ole hiomakoneen käyttöosaamista, eikä heidän laskennallinen työaikansa riitä käyttämään sorvien lisäksi myös hiomakoneita. Tämän takia sorvilta ei käydä lataamassa kappaleita hiomakoneeseen sorvausvaiheen valmistuttua, vaan ne odottavat seuraavan työntekijän töihin tuloa. Pahimmassa tapauksessa myös kolmasvaihe, tässä tapauksessa muodenhiontavaihe, joutuu pysähtymään ja odottamaan pyöröhiottuja kappaleita. Tämän kaltaisten tapahtumien välttämiseksi pitää olla välivarastoja, mikä nostaa taas keskeneräisen tuotannon arvoa ja luo jälleen hukkaa. Solujärjestelmässä työntekijällä olisi osaaminen sekä sorvaukseen, että hiontaan. Sairastapauksen satuttua, edellinen vuoro voi ladata soluun riittävästi kappaleita ja solun voi jättää miehittämättömälle ajolle siksi aikaa, kun seuraava vuoro tulee töihin. Näin kappaleiden virtaus ei pysähdy ja muodenhionnan työntekijä voi tarvittaessa käydä hakemassa pyöröhiotut kappaleet solusta ja jatkaa prosessia.

Myös työntekijöiden motivaatio paranisi lisähaasteen ja vastuun myötä. Lisäksi ongelmanratkaisu helpottuisi, koska sama työntekijä tuntisi ja ymmärtäisi prosessia laajemmin. Se auttaisi löytämään mahdollisen ongelmanaiheuttajan nopeammin ja siihen pystyttäisiin reagoimaan välittömästi. Virheellisten kappaleiden määrä vähenisi huomattavasti. Lisäksi vaiheiden välinen kehitys paranisi koska prosessia pystyttäisi näkemään laajemmassa kuvassa ja kappaleita tehtäisiin ikään kuin itselleen.

8.4 Robottisoluun liitettävät toiminnot

Robottisoluun olisi mahdollista liittää useita koneenkäyttäjän työtä helpottavia ratkaisuita. Esimerkiksi keskiöiden ja kappaleen puhdistus paineilmalla olisi mahdollista suorittaa automaattisesti. Tämä tapahtuu siten, että robotissa itsessään on paineilmasuutin tai robotti kuljettaa kappaleen solunosaan, jossa sijaitsee paineilman puhalluspiste, joka puhaltaa keskiöt ja kappaleen puhtaiksi robotin tuodessa kappaleen sen lähettyville.

Koneilla, joissa keskiöihin tuleva keskiökärki ei pyöri kappaleen mukana, käytetään tähän suunniteltua keskiörasvaa poistamaan kappaleen pyörimisen aiheuttamaa kitkaa. Kitka estää kappaletta pyörimästä ja tästä aiheutuu keskiön lämpenemistä ja kappaleen värinää. Värinä huonontaa pinnan laatua ja mittatarkkuutta. Keskiön lämpeneminen saattaa polttaa keskiön jopa niin pahasti, että se alkaa murtua ja kappaleesta tulee epäkeskeinen tai soikea. Keskiöiden rasvaus voitaisiin hoitaa automaattisesti. Keskiöiden puhalluspisteen yhteydessä voisi olla myös rasvauspiste, jolloin robotti siirtäisi kappaleen puhalluksen jälkeen automaattiselle rasvaprässille.

Konenäkökameralla pystyttäisiin poistamaan työntekijää kuormittavat kappaleiden nostelut lähes kokonaan tai ainakin vähentämään minimiin. Kappaleet voitaisiin tuoda soluun kuormalavalla, jolloin konenäkökamera kuvaisi lavan ja robotti osaisi itse poimia kappaleet lavalta. Lisäksi tämä mahdollistaisi solun kattavamman miehittämättömän käytön. Pienimpiä valurautaisia kappaleita mahtuu kuormalavalle noin 300 kappaletta. Yhdelle paletille niitä mahtuu enintään 35

kappaletta. Robotti laittaisi kappaleet aina ajon jälkeen paletille tai siirtäisi ne seuraavalle koneelle kuten edellisellä sivulla olevassa esimerkissä. Hiomakoneen robotti hoitaisi hiotut kappaleen paletille.

Robotin olisi mahdollista viedä kappaleet myös kuormalavalle, mutta tässä tapauksessa myös hiomakoneelle olisi hankittava konenäkökamera, koska akseli-maiset kappaleet pyörähtävät helposti niistä irti päästettäessä. Valurautaisissa kappaleissa on yleensä kerrosten välissä välipahvi tai levy. Tämän poisto onnistuu robottiin vaihdettavalla imukuppitarraimella. Robottiin on mahdollista saada työkalun vaihto, jolloin robotti vaihtaa ohjelmoidusti työkalusta toiseen. Tämä mahdollistaisi myös tarraimen vaihdon automaattisesti. Robotin työkaluksi on olemassa myös erilaisia viimeistelytyökaluja. Esimerkiksi paineilmatoiminen viila voitaisiin vaihtaa tarraimen tilalle. Viilalla pystyttäisiin poistamaan koneistuksen aikana kappaleen reunoihin syntyvät terävät särmät eli raadit. Tämä poistaisi tai vähentäisi koneen käyttäjän tekemää viimeistelytyötä. Raadit on poistettava kappaleesta joka tapauksessa. Kun tämä vaihe tehdään robotilla, työstökoneen ulkopuolella, säästetään kallista koneaikaa, koneen tehdessä sillä aikaa jo seuraavaa kappaletta.

Kappaleiden merkkkaus ja sarjanumeroittaminen on yleistymässä teollisuudessa, tällä toimenpiteellä pyritään selvittämään esimerkiksi kappaleen materiaalitietoja, millä koneella ja koska kyseinen osa on valmistettu. Tämä tieto helpottaa selvittämää mahdollisissa ongelmatilanteissa, onko vastaavia ongelmia samaan aikaan ja samalla koneella valmistetuissa kappaleissa. Siten pystytään selvittämään ongelmien syitä ja ennakoimaan muiden vastaavan sarjanumeron osien laitevikoja. Merkkkaus voidaan suorittaa myös työstökoneella, mutta tämä vie koneaikaa, joten usein merkkauksen suorittaa koneistaja työvaiheen lopuksi. Merkkkaus tehdään lyömällä joko yksittäisellä meistillä, jossa on yksi numero tai kirjain, tai ryhmämeistillä, jossa on koko sarjanumero samassa. Meistillä manuaalisesti lyödessä se on helposti vinossa, jolloin numero tulee vinoon. Ryhmämeistillä lyötynä numerosarjasta osa numeroista on usein huonosti luettavissa. Solujärjestelmässä merkkaaminen olisi mahdollista suorittaa erillisellä, koneen ulkopuolisella laitteella. Käytännössä merkkkaus tapahtuisi siten, että robotti veisi kappaleen

merkkaukoneelle, joka kaivertaisi tai polttaisi laserilla sille annetut merkit, esimerkiksi QR-koodit tai numerosarjan kappaleeseen (kuva 23). Koneella tehty merkkauk on nopeaa ja tasalaatuista.

Robottisoluun yhdistettyä kaiverruslaitetta ei löydy, ne ovat kaikki manuaalikäyttöisiä. Suomen Teollisuusmerkitä Oy yrityksestä kerrottiin, että he ovat luopuneet kokonaan kaiverrus- ja pistekirjoittimien myynnistä, niiden huonon menekin takia. Siellä robottisoluun valmiiden lasermerkkaukslaitteiden hinta on kymmenissä tuhansissa euroissa ja vaihtelee tehon mukaan. (Mathlin, 2020, haastattelu)



Kuva 23. Laserilla merkattu kappale. (Cajo Technologies, internet-sivut)

Jokaisessa työstövaiheessa koneistuksen aikana tehdään erilaisia mittauksia, joilla varmistutaan siitä, että kappaleet ovat oikeanlaisia ja oikean mittaisia. Tämä mittaustyö kuluttaa oman aikansa. Esimerkiksi Mazak 400 sorvilla, pelkästään kiilauran mittaukseen kuluu työkalun vaihtoineen lähes minuutti ja jos samalla mittaillaan jotain muuta, kuten halkaisijoita, tämä mittaukseen kulutettu aika voidaan tuplata. Sadan kappaleen sarjalla tämä tarkoittaa kaksisataa minuuttia pelkästään kappaleen mittaukseen. Tämän lisäksi koneistaja suorittaa tarkastusmittauksia tarpeen mukaan. Varsinkin pyöröhionnassa, missä toleranssit ovat pieniä, näitä tarkastuksia tehdään usein. Kappaleidenmittaus voidaan suorittaa koneistusprosessin ulkopuolisella optisella mittalaitteella. Tällä tavoin pystytään varmistamaan koneiden mittatarkkuus, lyhentämään koneistusaikaa ja vähentämään koneistajan tekemää mittaustyötä. Mittalaite voidaan sijoittaa soluun siten,

että se olisi sekä sorvaus- että pyöröhiomavaiheen käytössä. Koneessa tapahtuva mittaus on alttiimpi epäpuhtauksille kuin prosessin ulkopuolinenmittaus. Robotti voisi puhalttaa kappaleen puhtaaksi ja kuljettaa sen mittakoneelle. Mittakone mittaisi kappaleen ja ilmoittaisi mittapoikkeamista tai muuttaisi automaattisesti havaitut poikkeamat. Mittakoneelle voitaisi asettaa myös hälytysrajat, jolloin mittakone pysäyttäisi koneistusprosessin näiden rajojen ylityttyä. Optiset mittalaitteet ovat suhteellisen arvokkaita.

Marpossilta optoquick L600 (kuva 24) mittalaite olisi juuri tähän tarkoitukseen so- piva laite. Sen hinta on noin 130 000€. Hinta sisältää motorisoidun kärkipylkän ja robottisolu mahdollisuuden. Tosin halvempiakin laitteita markkinoilla on, mutta kyseisellä laitteella saataisiin mitattua kiilaurat, halkaisijat ja pituusmitat samalla kertaa. Laitteen ansiosta pystyttäisiin solussa ajamaan suhteellisen huolettomasti miehittämättömänä. (Edvardsson, 2020, haastattelu)



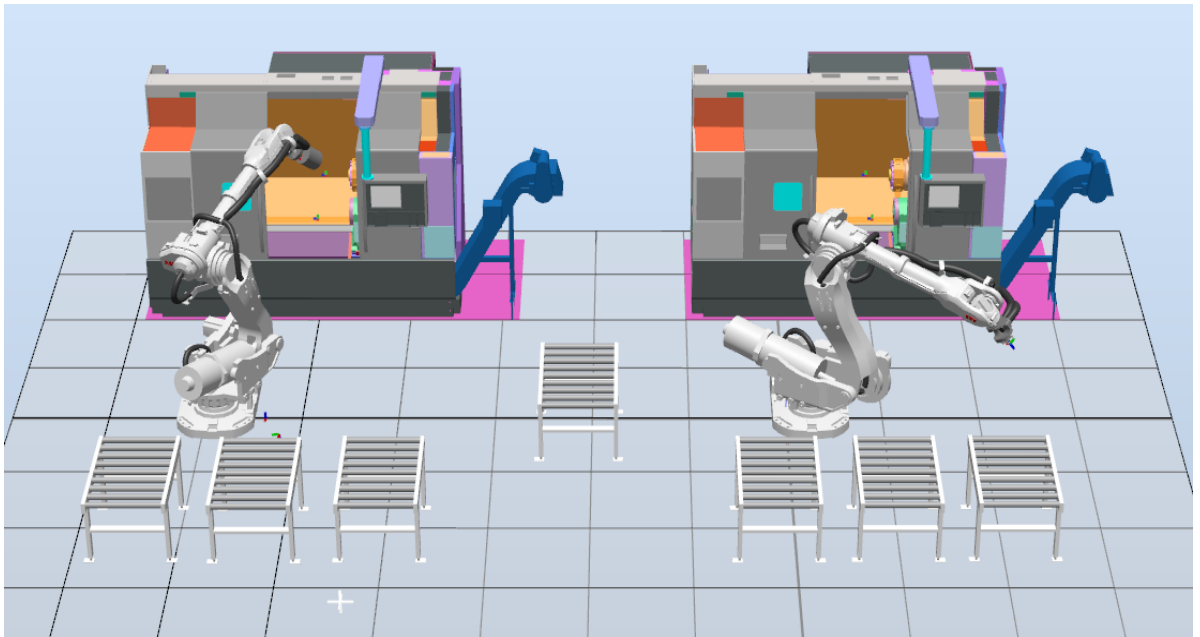
Kuva 24. Marposs Optoquick L600

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa kahden peräkkäisen työvaiheen, samaan soluun yhdistämisen kannattavuutta ja selvittää minkälaisella konseptilla vaiheiden yhdistäminen olisi kannattavaa. Työssä keskityttiin lähinnä vaiheaikojen vertailuun, materiaalien huomioon otamiseen ja hukanpoistoon, koska ne nousivat esiin suurimpina haasteina. Tulosten perusteella voidaan tehdä johtopäätökset koneistussolujen tarpeellisuudesta nykyaikaisessa sarjatuotannossa. Lämpimien aikojen lyhentymisellä ja hukan vähentämisellä voidaan perustella robottien hankintaa ja koneiden yhdistämistä. Valuraudan ja teräksen koneistusominaisuuksia vertailemalla voidaan todeta, että paras lopputulos saavutetaan erottamalla niiden koneistus eri soluihin. Valurautaa koneistettaessa hiomakivet, teräpalat ja leikkuunesteet tulisi olla erilaisia kuin terästä koneistettaessa. Hionnassa materiaali vielä hieman korostuu. Teräksen ja valuraudan hionta samoilla hiomakivillä kyllä onnistuu, mutta kompromisseja joudutaan tekemään ja toistotarkkuus heikkenee. Kivi menee tukkoon, eikä leikkaa, jolloin kappaleesta tulee epäkesko tai väärän mittainen tai kivi kopioi edellisen muodon profiiliin ja seuraavasta pinnasta tulee kartio tai muuten väärän mittainen. Seuraava kehityksen vaihe voisi olla juuri hiomakivien ja leikkuunesteen testaus. Tavoitteena olisi parhaan mahdollisen hiomakiven ja leikkuunesteen löytäminen molemmille materiaaleille.

Myös solun pohjaratkaisuun tulee kiinnittää erityistä huomiota. Nykyisessä hiontasolussa on yhdistetty pyöröhionta ja muodonhionta. Solu on neliön mallinen ja hiomakoneet ovat toisiinsa nähden 90 asteen kulmassa. Hiomakoneita palvelee yksi teollisuusrobotti. Solussa on hiomakoneiden lisäksi pesukone, keskiöiden puhallus ja rasvauspiste ja harjakone, joka poistaa raadit kappaleen päästä. Solu vie vähemmän tilaan, mutta on samalla äärimmäisen ahdas työskennellä. Lisäksi solu on pysähdyksissä aina siihen asti, kunnes viimeinenkin asetus on tehty valmiiksi. Koneilla ei myöskään voi työskennellä erikseen. Jos toinen koneista on epäkunnossa tai huollossa, silloin koko solu on toimintakyvytön, koska solun sisällä ei voi työskennellä sen käydessä.

Kahden erillisen solun sijoittelu voisi olla esimerkiksi kuvan 25 mukainen. Ratkaisussa ajatuksena on se, että molemmat robotit ylettyisivät koneiden välissä olevalle paletille ja yhdistetty soluajo kulkeisi tämän paletin kautta. Koneilla pystyisi ajamaan myös erikseen, jolloin robotit laittaisivat kappaleet takaisin niitä vastaanpäättä oleville paleteille.



Kuva 25. RobotStudiolla mallinnettu esimerkki kahden erillisen koneen muodostama koneryhmätyyppinen solu.

Kuvan 25 mukaisella ratkaisulla soluja voisi laittaa riviin, vaikka kolme, jolloin soluryhmästä muodostuisi linjatyypinen. Linjatyypisellä ratkaisulla saataisiin kaikki vaiheet saman soluryhmään. Tämän soluryhmän käytöstä voisi vastata esimerkiksi kaksi työntekijää samassa vuorossa. Tällä tavalla yhden työntekijän ei tarvitsisi ottaa vastuuta koko solusta ja tuntee sekä rouhinta-, hionta-, että muodonhiontavaiheita. Jokaisessa vaiheessa on kuitenkin omat haasteensa ja esimerkiksi muodonhiontavaiheessa pitää ymmärtää muodon vaikutuksesta ilman puristumiseen.

LÄHTEET

Peltonen, M. & Ruohotie, P. (1987) Motivaatio: menetelmiä työhalun parantamiseksi. Helsingissä [Hki: Otava. Luettu 10.2.2020

Gardner Denverin yritysesitys 2012 Luettu 20.1.2020

Lapinleimu, I., Kauppinen, V., & Torvinen, S. (1997). Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY. Luettu 20.2.2020

Kuivanen, R. (1999) Robotiikka. Helsinki: Talentum. Luettu 1.2.2020

Mahla T. 2017 Kokoonpanon automatisointi. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Luettu 20.2.2020

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/132240/Mahla_Toni.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Koivisto, K. (2008) Konetekniikan materiaalioppi. 12. uud. p. Helsinki: Edita. Luettu 20.2.2020

Chryssolouris, G. 2006. Manufacturing systems: theory and practice (2nd ed.). New York: Springer. Luettu 15.2.2020

Ansaharju, T., Ilomäki, O., & Maaranen, K. (1989). Lastuava työstö. Helsinki: WSOY. Luettu 20.2.2020

Telkon, Luettu 20.2.2020 <https://www.telko.com/fi/blog/yleisimm%C3%A4t-ty%C3%B6stett%C3%A4vt-materiaalit-valurauta>
([https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1793567/FI/Ladattavat dokumentit/Kunnossapit-top%C3%A4%C3%A4lik%C3%B6n%20voiteluaineopas%2012F2-%20Voitelu-aineen%20valinta%20ty%C3%B6stett%C3%A4v%C3%A4n%20materiaalin%20mukaan%20\(3\).pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1793567/FI/Ladattavat_dokumentit/Kunnossapit-top%C3%A4%C3%A4lik%C3%B6n%20voiteluaineopas%2012F2-%20Voitelu-aineen%20valinta%20ty%C3%B6stett%C3%A4v%C3%A4n%20materiaalin%20mukaan%20(3).pdf))

Sandvik Coromant, Luettu 20.1.2020 <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>

Dreamstime, Luettu 7.3.2020 <https://es.dreamstime.com/f%C3%A1brica-conceptos-escogiendo-el-coj%C3%ADn-de-vac%C3%ADo-en-brazo-del-robot-industrial-para-almac%C3%A9n-elegante-la-fabricaci%C3%B3n-image105369028>

Cajo Technologies, Luettu 7.3.2020 https://cajotechnologies.com/cajo2017/wp-content/uploads/2018/09/Cajo_Lasermerkintaratkaisut_web.pdf

Schunk, Luettu 7.3.2020 https://schunk.com/de_en/homepage/

Mathlin, M, Suomen Teollisuusmerkitä Oy, sähköpostihaastattelu 17.3.2020

Edvardsson, M, Marboss Managing Director, sähköpostihaastattelu 18.3.2020